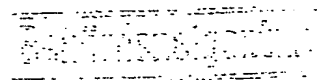




DEUTSCHES  
PATENTAMT

②1 Aktenzeichen: P 37 36 430.8  
②2 Anmeldetag: 28. 10. 87  
④3 Offenlegungstag: 11. 5. 89



DE 37 36 430 A 1

⑦1 Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 7000 Stuttgart, DE

⑦2 Erfinder:  
Heß, Werner, Ing.(grad.), 7012 Fellbach, DE; Moser,  
Winfried, Dipl.-Ing., 7140 Ludwigsburg, DE;  
Schneider, Hermann, Ing.(grad.), 7100 Heilbronn, DE

⑤4 Verfahren zur Regelung des Zündwinkels bei einer Brennkraftmaschine

Es wird ein Verfahren zur Regelung des Zündwinkels bei einer Brennkraftmaschine zur Einstellung einer gewünschten Verbrennungslage in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel vorgeschlagen, das durch folgende Schritte gekennzeichnet ist: Es werden der im normalen Betrieb der Brennkraftmaschine entstehende Brennraumdruck ( $p(\alpha)$ ) in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel ( $\alpha$ ) und der im reinen Kompressorbetrieb im Brennraum entstehende Kompressordruck ( $p_k(\alpha)$ ) erfaßt, zur Bestimmung eines Ersatzdruckverlaufs ( $p^*(\alpha)$ ) in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel ( $\alpha$ ) wird die Differenz zwischen dem Brennraumdruck ( $p(\alpha)$ ) und dem Kompressordruck ( $p_k(\alpha)$ ) gebildet, es wird der Maximalwert des Ersatzdrucks und der zugehörige Kurbelwinkel ( $\alpha^*_{max}$ ) ermittelt, schließlich wird der Zündwinkel so verändert, daß der Maximalwert des Ersatzdrucks bei einem gewünschten Kurbelwinkel auftritt.

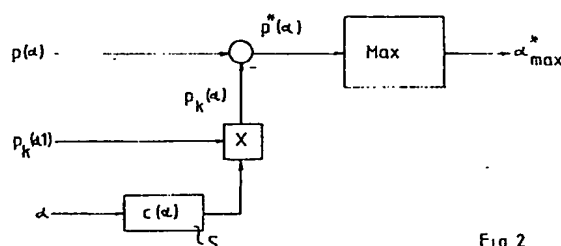


Fig. 2

DE 37 36 430 A 1

## Stand der Technik

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur Regelung des Zündwinkels bei einer Brennkraftmaschine gemäß Oberbegriff des Anspruchs 1.

Bei einem bekannten Verfahren dieser Art wird die Verbrennungslage, das heißt die Energieumsetzung bezogen auf die Kurbelstellung, so geregelt, daß Abgaswerte und Verbrauch möglichst günstig sind. Die Lage der Verbrennung ist dabei durch den Zeitpunkt gekennzeichnet, bei dem 50 Prozent der Energie der Zylinderladung umgesetzt sind. Die Verbrennungslage wird aus dem Brennraumdruckverlauf errechnet. Diese Berechnung ist jedoch sehr aufwendig.

Bei einem weiteren bekannten Verfahren wird daher zur Bestimmung der Lage der Verbrennung als Ersatzgröße die Lage des Druckmaximums, also die Kurbelstellung bzw. der Kurbelwinkel bei Auftreten des maximalen Drucks erfaßt. Bei hohem Lastzustand der Brennkraftmaschine läßt sich eine eindeutige Zuordnung zwischen der Lage der Verbrennung und dem Druckmaximum finden. Dies ist jedoch bei niedrigem Lastzustand, insbesondere im Leerlauf, nicht möglich. Die Ursache liegt darin, daß sich die Druckänderung im Bereich nach dem oberen Totpunkt zusammensetzt aus einem Druckabfall in Folge des größer werdenden Brennraumvolumens und einer Drucksteigerung, durch die zu diesem Zeitpunkt freigesetzte chemische Energie. Das Druckmaximum ist dann erreicht, wenn sich die Druckanstieg und Druckabfall gerade aufheben.

Durch die Änderung des Zündwinkels, das heißt durch einen geänderten Zündzeitpunkt, kann die Verbrennungslage verschoben werden, so daß dieses Gleichgewicht bei einem anderen Kurbelwinkel erreicht wird. Jedoch ist bei niedriger Last die Drucksteigerung aufgrund der geringeren umgesetzten Energie geringer und folglich der Einfluß der Expansion größer als bei hoher Belastung. Außerdem ändert sich mit Änderung der Verbrennungslage bei niedriger Last auch der Verlauf der Energieumsetzung. Dies führt dazu, daß sich die Lage des Druckmaximums auch bei sich änderndem Zündwinkel kaum noch mit der Lage der Verbrennung ändert.

## Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, daß die Verbrennungslage einfach zu berechnen ist und daß auch bei niedriger Belastung der Brennkraftmaschine eine eindeutige Zuordnung von Verbrennungslage und Kurbelwinkeln bei geändertem Zündwinkel möglich ist. Die zur Bestimmung der Verbrennungslage herangezogenen Druckmaxima sind in allen Bereichen, also von hohen Belastungen bis zum Leerlauf, eindeutig über eine Änderung des Zündwinkels verschiedenen Kurbelwinkeln zuordenbar. Es ist also ohne weiteres möglich, durch die Änderung des Zündwinkels die Lage der Verbrennung so zu regeln, daß sie einen bestimmten, als optimal ermittelten Kurbelwinkel zuzuordnen ist. Dies wird dadurch möglich, daß bei einem Verfahren gemäß Anspruch 1 die genannten Verfahrensschritte ausgeführt werden.

Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Verbesserungen des im Hauptanspruch angegebenen Regelverfahrens möglich.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn die während der Kompressionsphase ermittelten Werte des Brennraumdrucks gespeichert und die dadurch bestimmte Kurve bei Erreichen des oberen Totpunkts umgeklappt wird, so daß sich eine symmetrische Kurve ergibt. Diese wird zur Berechnung des Verlaufs eines Ersatzdrucks herangezogen, der der Ermittlung der Verbrennungslage dient. Durch dieses Verfahren wird eine besonders einfache Regelungsmöglichkeit erreicht.

## Zeichnung

Zwei Ausführungsarten des Verfahrens werden anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Diagramm, welches die Lage des Druckmaximums bezüglich der definierten Verbrennungslage wiedergibt;

Fig. 2 den Ablaufplan einer ersten Ausführungsform des Verfahrens;

Fig. 3 den Ablaufplan einer zweiten Ausführungsform des Verfahrens;

Fig. 4 ein Diagramm, welches den Brennraumdruck über dem Kurbelwinkel  $\alpha$  (durchgezogene Linie), den an einer den oberen Totpunkt schneidenden Achse gespiegelten Verlauf des Brennraumdrucks (gepunktete Linie) sowie den Verlauf des berechneten Ersatzdrucks (gestrichelte Linie) bei niedriger Belastung wiedergibt;

Fig. 5 den Verlauf des Brennraumdrucks und den berechneten Ersatzdruck über dem Kurbelwinkel bei hoher Belastung und

Fig. 6 den Verlauf des Brennraumdrucks und den berechneten Ersatzdruck über dem Kurbelwinkel bei niedriger Belastung.

## Beschreibung der Ausführungsformen

Fig. 1 zeigt ein Diagramm, in dem die Lage des Maximums des Brennraumdrucks über der Lage der Verbrennung aufgezeichnet ist. Beide Größen sind auf den Kurbelwinkel bezogen. Die Lage der Verbrennung ist bei dieser Darstellung durch den Zustand definiert, in dem 50 Prozent der Energie der Zylinderladung umgesetzt sind.

Die Kurve 1 ist bei hoher Belastung der Brennkraftmaschine aufgenommen, die Kurve 2 für einen niedrigen Lastzustand des Motors. Es ist ersichtlich, daß die Zuordnung zwischen der Lage des Druckmaximums und der Lage der Verbrennung bei der Kurve 1 in einem weiten Bereich eindeutig ist, während dies bei Kurve 2 nicht der Fall ist. Die Kurven 1 und 2 sind mit einem herkömmlichen Meßverfahren aufgenommen.

Aus den Kurven 1\* und 2\*, die die Lage der Maxima der mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens gewonnenen Ersatzdruckwerte wiedergeben, wird deutlich, daß die Zuordnung zwischen der Lage des Druckmaximums und der Lage der Verbrennung hier auch bei niedriger Belastung der Brennkraftmaschine über einen weiten Bereich eindeutig ist. Der Bereich der eindeutigen Zuordnung ist überdies für einen hohen Lastzustand erweitert.

Die Druckwerte für die Kurven 1\* und 2\* werden folgendermaßen gewonnen:

Anstelle des aktuellen, sich in Abhängigkeit von der Kurbelstellung bzw. dem Kurbelwinkel  $\alpha$  ändernden Brennraumdrucks  $p(\alpha)$  wird eine Ersatzgröße  $p^*(\alpha)$  erzeugt. Dazu wird der Verlauf des Kompressor-drucks  $p_k(\alpha)$  ermittelt, nämlich der Druck, der in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel  $\alpha$  im reinen Kompressor-Betrieb der

Lastzustand ist effektiver als bei herkömmlichen Verfahren.

Noch deutlicher werden die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens bei niedrigen Lastzuständen der Brennkraftmaschine.

Aus Fig. 6 ist ersichtlich, daß sich die Maxima des Brennraumdrucks  $p_1(\alpha)$ ,  $p_2(\alpha)$  praktisch nicht verlagern, wenn der Zündwinkel bei der Messung von  $p_2(\alpha)$  gegenüber der Messung von  $p_1(\alpha)$  um  $20^\circ$  KW nach spät verschoben wurde. Dagegen sind die Maxima der Ersatzdruckverläufe durch die Änderung des Zündwinkels deutlich unterscheidbar. Das heißt, bei diesem Verfahren kann durch eine Änderung des Zündwinkels die Lage der Verbrennung bzw. die Lage der Druckmaxima so verschoben werden, bis die Lage der Verbrennung bzw. die des Druckmaximums bei dem gewünschten Kurbelwinkel liegen.

Es ist noch festzuhalten, daß bei der Bestimmung des Kompressor-drucks mittels des Ansatzes der polytropen Verdichtung bzw. Expansion der Absolutdruck erfaßt werden muß. Überdies eignen sich viele Druckaufnehmer nicht zur statischen Druckmessung. Daher wird anstelle des Absolutdrucks der während der Ansaugphase herrschende Druck im Saugrohr erfaßt und anhand dieses Werts der Druckaufnehmer bei jedem Ansaugvorgang auf "0" gesetzt. Der Beginn der Ansaugphase ist in Fig. 4 an dem treppenförmigen Druckabfall rechts im Diagramm erkennbar.

Das Verfahren der Spiegelung des Verlaufs des Brennraumdrucks ist natürlich dann ungeeignet, wenn schon vor Erreichen des oberen Totpunkts ein auf der Verbrennung beruhender wesentlicher Druckanstieg erfolgt.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung des Zündwinkels bei einer Brennkraftmaschine zur Einstellung einer gewünschten Verbrennungslage in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- Es werden der im normalen Betrieb der Brennkraftmaschine entstehende Brennraumdruck ( $p(\alpha)$ ) in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel ( $\alpha$ ) und der im reinen Kompressorbetrieb im Brennraum entstehende Kompressor-druck ( $p_K(\alpha)$ ,  $p_s(\alpha)$ ) erfaßt,
- zur Bestimmung eines Ersatzdruckverlaufs ( $p^*(\alpha)$ ) in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel ( $\alpha$ ) wird die Differenz zwischen dem Brennraumdruck ( $p(\alpha)$ ) und dem Kompressor-druck ( $p_K(\alpha)$ ,  $p_s(\alpha)$ ) gebildet,
- es wird der Maximalwert des Ersatzdrucks und der zugehörige Kurbelwinkel ( $\alpha^*_{max}$ ) ermittelt,
- es wird schließlich der Zündwinkel so verändert, daß der Maximalwert des Ersatzdrucks bei einem gewünschten Kurbelwinkel auftritt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ermittlung des Kompressor-drucks ( $p_K(\alpha)$ ) in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel ( $\alpha$ ) die polytrope Verdichtung bzw. Expansion berechnet wird, wobei der Brennraumdruck ( $p_K(\alpha_1)$ ) und das Brennraumvolumen ( $V(\alpha_1)$ ) bei einem bestimmten Kurbelwinkel ( $\alpha_1$ ) herangezogen werden, bei dem noch keine Verbrennung stattfindet.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ermittlung des Kompressor-

drucks ( $p_s(\alpha)$ ) in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel ( $\alpha$ ) der Kompressor-druck ( $p_s(\alpha)$ ) bis zur Erreichung des oberen Totpunkts eines Kolbens in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel ( $\alpha$ ) gemessen und in einem Speicher gespeichert wird, daß der im Speicher abgelegte Kurvenverlauf an einer durch den oberen Totpunkt verlaufenden Achse gespiegelt wird und daß die vor Erreichen des oberen Totpunkts gespeicherten Werte entsprechend nach Erreichen des oberen Totpunkts aus dem Speicher abgerufen werden.

Brennkraftmaschine, also ohne Einwirkung der Zündung auftritt. Der Kompressordruck  $p_k(\alpha)$  wird vom tatsächlichen Brennraumdruck  $p(\alpha)$  abgezogen, so daß sich für die Ersatzgröße  $p^*(\alpha)$  folgende Gleichung ergibt:

$$p^*(\alpha) = p(\alpha) - p_k(\alpha) \quad (1)$$

Aus dem Verlauf des Ersatzdrucks wird auf beliebige Weise die Lage des Maximalwerts bezüglich des Kurbelwinkels ermittelt. Der zugehörige Kurbelwinkel wird mit  $\alpha^*_{max}$  bezeichnet. Die Lage des auf diese Weise gewonnenen Maximalwerts des Ersatzdrucks ist für hohe Belastung in der Kurve 1\* und für einen niedrigen Lastzustand in der Kurve 2\* gemäß Fig. 1 dargestellt. Dabei ist die Lage des Maximalwerts jeweils der Lage der Verbrennung zugeordnet.

Es werden im folgenden zwei Wege zur Bestimmung des Kompressordruckverlaufs dargestellt:

Die erste Möglichkeit besteht darin, die polytrope Verdichtung bzw. Expansion nach folgender Gleichung zu ermitteln:

$$p_k(\alpha) = \left[ \frac{V(\alpha_1)}{V(\alpha)} \right]^n \cdot p_k(\alpha_1) \quad (2)$$

Um den Verlauf des Drucks über dem Kurbelwinkel genauer festlegen zu können, wird der Brennraumdruck  $p_k(\alpha)$  bei einem bestimmten Kurbelwinkel  $\alpha_1$  von beispielsweise  $60^\circ$  vor dem oberen Totpunkt des zugehörigen Zylinders ermittelt. Dieser Winkel wird so gewählt, daß mit Sicherheit noch keine Verbrennung im Brennraum stattfindet. Überdies wird das Brennraumvolumen  $V(\alpha_1)$  bei diesem Kurbelwinkel ermittelt. In Gleichung (2) ist ansonsten mit  $p_k(\alpha)$  der Kompressordruck bei einem Kurbelwinkel  $\alpha$ , mit  $V(\alpha)$  das Brennraumvolumen bei einem Kurbelwinkel  $\alpha$  und mit  $n$  der Poltrogenexponent bezeichnet, der bei heutigen Ottomotoren etwa den Wert 1,32 hat.

Der Ausdruck in Gleichung (2)

$$\left[ \frac{V(\alpha_1)}{V(\alpha)} \right]^n = c(\alpha) \quad (3)$$

wird in einer Tabelle abgelegt, das heißt in einem Speicher gespeichert. Für den entsprechenden Kurbelwinkel  $\alpha$  werden die zugehörigen Winkel von  $c(\alpha)$  abgerufen.

Für den Ersatzdruck  $p^*(\alpha)$  ergibt sich aus Gleichung (1) in Verbindung mit Gleichung (2) und (3) folgende Funktion:

$$p^*(\alpha) = p(\alpha) - c(\alpha) \cdot p_k(\alpha_1) \quad (4)$$

Aus dem Ersatzdruckverlauf wird die Lage des Maximaldruckwerts bestimmt, die ein eindeutiges Maß für die Lage der Verbrennung darstellt.

Fig. 2 zeigt den zugehörigen Ablaufplan, der im folgenden erläutert wird:

Für jeden Kurbelwinkel  $\alpha$  wird aus einer Tabelle, bzw. aus einem Speicher  $S$  der zugehörige Wert der Funktion  $c(\alpha)$  abgerufen und mit dem bei einem vorgegebenen Winkel  $\alpha_1$  gemessenen Wert des Brennraumdrucks  $p_k(\alpha_1)$  multipliziert. Der so erhaltene Kompressordruck  $p_k(\alpha)$  wird zur Ermittlung des Ersatzdrucks  $p^*(\alpha)$  von dem tatsächlichen Brennraumdruck  $p(\alpha)$  subtrahiert. Durch Ermittlung des Maximalwerts des Er-

satzdrucks ergibt sich der Kurbelwinkel  $\alpha^*_{max}$ , bei dem das Druckmaximum auftritt.

Die zweite Ausführungsform des Verfahrens wird anhand der Fig. 3 und 4 erläutert:

- 5 Zur Ermittlung des Kompressordrucks  $p_k(\alpha)$  werden die Werte des Brennraumdrucks  $p(\alpha)$ , die vor Erreichen des oberen Totpunkts gemessen werden mit dem zugehörigen Kurbelwinkel gespeichert. Die sich so ergebende Druckverlaufskurve wird bei Erreichen des oberen
- 10 Totpunkts "umgeklappt", das heißt, an einer den Totpunkt schneidenden Achse gespiegelt und ebenfalls im Speicher gespeichert. Der Verlauf des gespeicherten Kompressordrucks  $p_k(\alpha)$  ist in Fig. 4 gepunktet dargestellt. Bis Erreichen des oberen Totpunkts sind der
- 15 Brennraumdruck  $p(\alpha)$  und der Kompressordruck  $p_k(\alpha)$  gemäß Fig. 4 identisch.

Auch bei dieser Ausführungsform des Verfahrens wird zur Ermittlung des Ersatzdrucks  $p^*(\alpha)$  der Kompressordruck  $p_k(\alpha)$  von dem tatsächlichen im Brennraum vorherrschenden Druck subtrahiert, so daß sich die folgende Gleichung ergibt:

$$p^*(\alpha) = p(\alpha) - p_k(\alpha) \quad (5)$$

- 25 Die Werte von  $p_k(\alpha)$  werden aus dem Speicherglied  $S$  abgerufen.

Dies ist aus Fig. 3 ersichtlich, die den Ablaufplan dieses Verfahrens wiedergibt: Die Werte des Brennraumdrucks  $p(\alpha)$  werden dem Speicherglied  $S$  in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel  $\alpha$  eingegeben. Nach Erreichen des oberen Totpunkts werden die aufgrund der Kurvenspiegelung erhaltenen Werte als  $p_k(\alpha)$  aus dem Speicher abgerufen. Um den Ersatzdruck  $p^*(\alpha)$  zu erhalten, wird die Differenz zwischen  $p(\alpha)$  und  $p_k(\alpha)$  ermittelt. Der Verlauf des Ersatzdruckes  $p^*(\alpha)$  bei niedriger Last, nämlich bei Leerlauf, ist in Fig. 4 gestrichelt dargestellt. Wie bei dem oben beschriebenen Beispiel werden der Maximalwert des Ersatzdrucks und der zugehörige Kurbelwinkel  $\alpha^*_{max}$  ermittelt.

- 40 Aus Fig. 4 ist eindeutig ersichtlich, welche Vorteile dieses Verfahren gegenüber herkömmlichen hat. Der mit einer durchgezogenen Linie dargestellte Verlauf des Brennraumdrucks  $p(\alpha)$  erreicht beim oberen Totpunkt seinen Maximalwert und weist anschließend im abfallenden Teil der Kurve lediglich eine Unregelmäßigkeit auf. Aus dieser Kurve ist die Lage der Verbrennung mittels einer Maximalwertanalyse nicht erfaßbar.

Dies ist dagegen ohne weiteres bei dem Verlauf des Ersatzdrucks  $p^*(\alpha)$  möglich, weil hier ein eindeutiges Maximum zu ermitteln ist. Die Vorteile dieses Verfahrens lassen sich anhand der Fig. 5 und 6 erläutern.

- Fig. 5 zeigt den Verlauf des Brennraumdrucks  $p(\alpha)$  und den berechneten Ersatzdruck  $p^*(\alpha)$  über dem Kurbelwinkel  $\alpha$  während eines hohen Lastzustands. Bei dieser Darstellung wird, wie auch in Fig. 6, zwischen dem Druck  $p_1(\alpha)$  und  $p_2(\alpha)$  bzw.  $p^*_1(\alpha)$  und  $p^*_2(\alpha)$  unterschieden. Der abweichende Druckverlauf zwischen  $p_1$  und  $p_2$  bzw.  $p^*_1$  und  $p^*_2$  beruht auf einer Änderung des Zündwinkels. Er ist bei  $p_2$  bzw.  $p^*_2$  gegenüber  $p_1$  bzw.  $p^*_1$  um  $20^\circ$  KW nach spät verschoben. Durch senkrechte Striche sind die Maxima der Druckkurven markiert. Es wird deutlich, daß bei Änderung des Zündwinkels um  $20^\circ$  KW die Verschiebung der Maxima bei dem Verlauf des Brennraumdrucks  $p_1(\alpha)$  und  $p_2(\alpha)$  geringer ausfällt, als bei dem Verlauf des Ersatzdrucks  $p^*_1(\alpha)$  und  $p^*_2(\alpha)$ . Das heißt also, eine auf dem erfinderischen Verfahren beruhende Regelung der Lage der Verbrennung bzw. der Druckmaxima mit Hilfe des Zündwinkels bei hohem
- 65

- Leerseite -

3736430

Nummer:

37 36 430

Int. Cl.4:

F 02 P 5/15

Anmeldetag:

28. Oktober 1987

Offenlegungstag:

11. Mai 1989

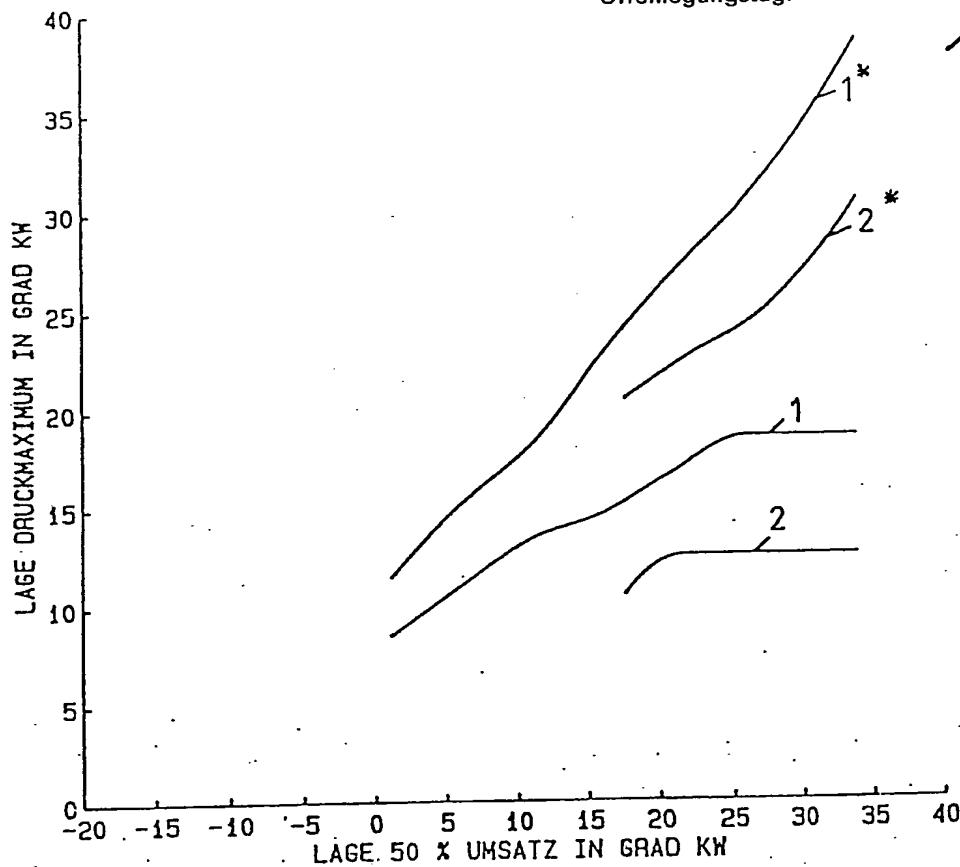


Fig. 1

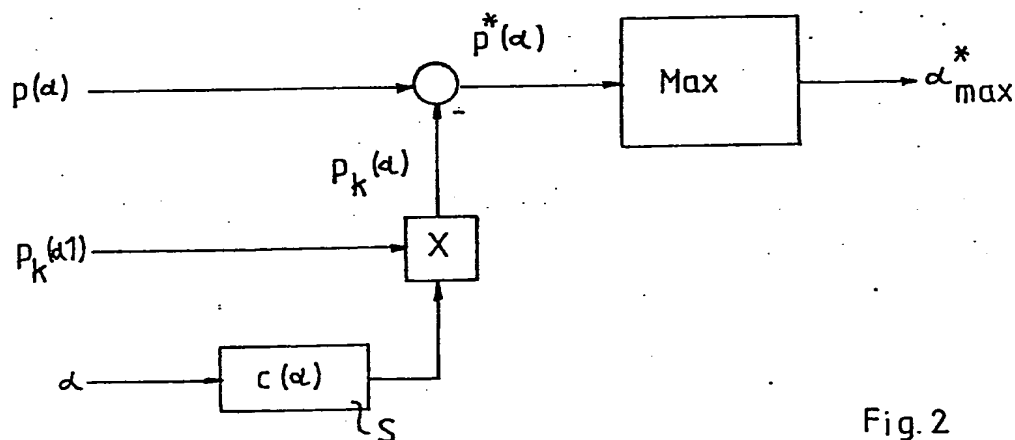


Fig. 2

3736430

14

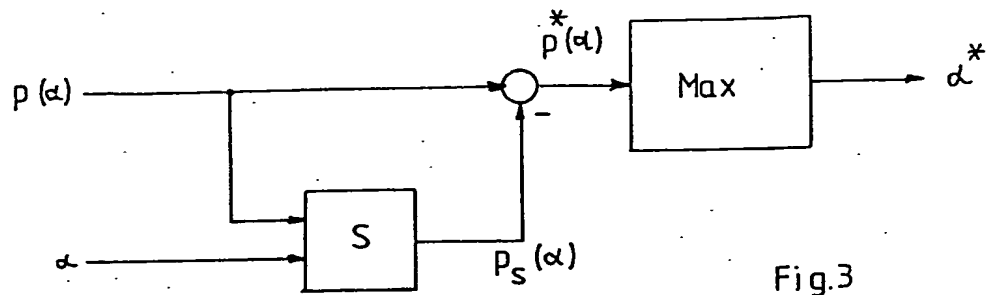


Fig.3

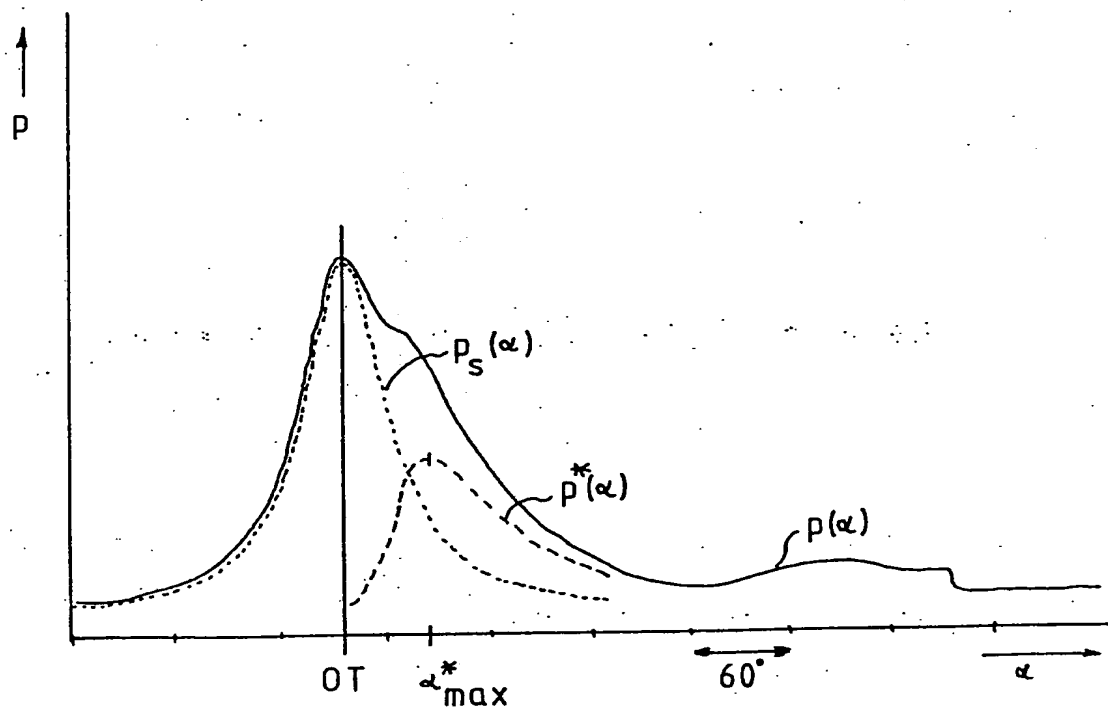


Fig.4

3736430

15\*

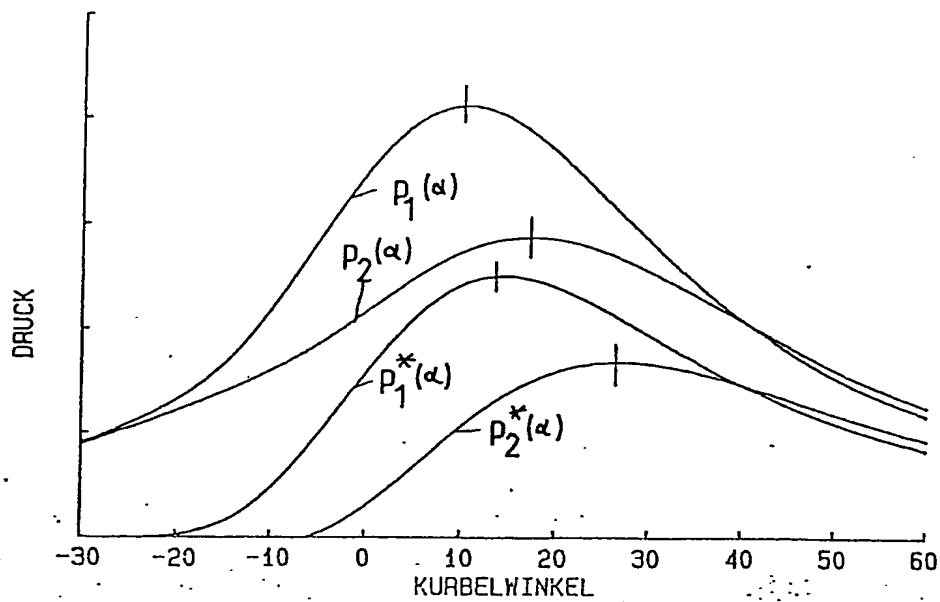


Fig. 5

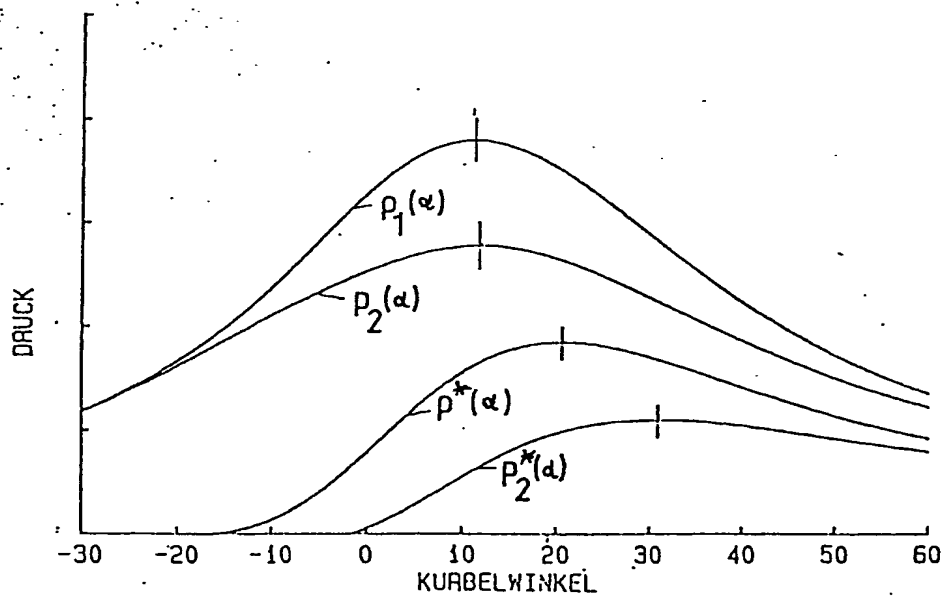


Fig. 6